

ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДУГОВОЙ ПЕЧЬЮ МАЛОЙ ЁМКОСТИ

Елизаров В.А., Елизаров К.А.

Национальный Исследовательский Университет «МЭИ», ООО «Автоматизированные Электротехнологические Установки и Системы», г. Москва, Россия, veliz@yandex.ru

Аннотация — в статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при создании систем автоматического управления дуговыми печами малой ёмкости, а также показаны направления и возможные пути их решения.

Ключевые слова — дуговая печь, система автоматического управления, механизм перемещения электрода, механическая структура, информационно-управляющая структура.

ВВЕДЕНИЕ

К дуговым сталеплавильным печам (ДСП) малой емкости принято относить печи постоянного и переменного тока емкостью не более 5 тонн по жидкой стали [1]. Несмотря на распространение ДСП в мелкосерийных литейных производствах, доля которых в промышленности в настоящее время постоянно увеличивается, работ посвященных проблемам исследования и построения систем автоматического управления такими печами насчитывается не так много.

Как известно, электрический режим в ДСП малой емкости, так же как и в других типах ДСП, на протяжении всего периода плавки нестабилен и сопровождается резкими колебаниями мощности [2]. Поддержание необходимого электрического режима для выполнения технологических операций осуществляется в основном изменением межэлектродного промежутка, что выражается в вертикальном перемещении электрода (или электродов — в многофазных печах), который приводится в движение специальным механизмом.

В настоящее время, при создании систем автоматического управления ДСП малой емкости, как правило, руководствуются исследованиями и опытом эксплуатации ДСП большой ёмкости, применяющихся на крупных металлургических заводах, что приводит к неэффективной эксплуатации печей, завышенной конечной стоимости систем управления и другим негативным последствиям экономического и эксплуатационного характера.

Проблему создания системы автоматического управления ДСП малой емкости можно разделить на две больших взаимосвязанных составляющих, позволяющих комплексно подойти к ее решению:

- Проблему разработки механической структуры печи, отвечающей непосредственно за вертикальное перемещения электрода;

- Проблему создания информационно-управляющей структуры печи, в задачи которой входят измерения всех влияющих параметров и осуществление управляющих воздействий по заранее заложенному алгоритму для обеспечения требуемого электрического и технологического режимов работы.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

К механическим частям, участвующим в процессе регулирования мощности, ДСП малой ёмкости предъявляются следующие основные требования: малые габаритные размеры и массы движущихся частей при сохранении необходимого функционала и тяговых характеристик, относительная дешевизна, а также повышенные динамические характеристики, в первую очередь выражающиеся в их малой инерционности и малых запаздываниях при отработке управляющего воздействия.

В современных механизмах перемещения электродов ДСП традиционно используются электрогидравлические приводы и приводы электромеханические, которые строятся на базе двигателей постоянного и переменного тока с соответствующими кинематическими передачами. Каждому из типов используемых приводов присущи определенные преимущества и недостатки.

Наличие в двигателях постоянного тока коллекторных узлов, снижающих их надежность, а также высокая стоимость ведут к ограниченному применению таких двигателей в современных дуговых печах. Заводы, эксплуатирующие печи с подобного рода механизмами, в большинстве случаев стараются заменить их частотно-регулируемыми асинхронными двигателями (АД).

В свою очередь, несмотря на низкую стоимость самого АД, приводы с частотно-регулируемыми АД обладают повышенной стоимостью, приходящейся в основном на преобразователь частоты и другое вспомогательное оборудование (тормозные резисторы и т.д.). Кроме того, диапазон регулирования в приводах с асинхронными двигателями значительно ниже, чем в приводах с двигателями постоянного тока, а его расширение требует дорогостоящих датчиков обратной связи по скорости (энкодеров) и преобразователей частоты с более сложными законами регулирования (например, с векторным управлением).

Для преобразования вращательного движения в линейное вертикального перемещения электрода все электромеханические приводы снабжаются зубчатыми рейками или передачами винт-гайка, а для уменьшения скорости перемещения – редукторами.

Электрогидравлические приводы находят ограниченное применение в дуговых печах малой емкости по причине нежелания работников небольших заводов заводить масляное хозяйство, требующее наличия квалифицированного обслуживающего персонала, более высокой культуры производства. Кроме того, использование гидравлического привода в ряде случаев связано с большими капитальными затратами на маслonaпорную станцию, маслопроводы и распределительные шланги, фитинги и т.д., а для обеспечения высокой точности и динамики работы системы в целом, возникает необходимость установки в линиях управления перемещением электродов дорогостоящих пропорциональных распределителей [3].

С целью нахождения рациональной структуры механизма перемещения электрода для ДСП малой ёмкости была разработана программа проведения исследований по двум различным направлениям: проверить пригодность и работоспособность привода перемещения электрода с нерегулируемым асинхронным двигателем, а также привода, в основе которого лежит широко распространенный станочный синхронный сервопривод с возбуждением от постоянных магнитов.

Для проведения указанных исследований был спроектирован и собран специальный модельный стенд, общий вид которого представлен на рис. 1. Данный стенд позволяет исследовать системы автоматизированного управления дуговыми печами как постоянного, так и переменного тока с различными типами приводов в лабораторных условиях и получить зависимости основных показателей качества и точности регулирования от параметров привода.



Рис. 1. Модельный стенд.

Особенностью стенда является использование двух асинхронных двигателей, соединенных выходными валами. При этом «приводной» двигатель, моделирует двигатель в приводе перемещения электрода, а «тормозной» двигатель – моделирует нагрузку, состоящую из редуктора, перемещающейся стойки с закрепленными на ней электрододержателем и электродом. Созданный стенд позволяет исследовать различные режимы работы, как механизма перемещения электрода, так и системы в целом, кроме того, конструкция стенда позволяет при необходимости с легкостью заменять тип используемых приводов, а также подключать к нему различное периферийное оборудование.

Стенд позволяет исследовать следующие режимы работы ДСП:

- Работа с отключенным питанием «тормозного» двигателя позволяет моделировать увеличение инерционности системы привода за счет момента инерции вертикально перемещающегося электрода, который составляет величину, сравнимую с моментом инерции приводного двигателя;
- Работа «тормозного» двигателя в двигательном режиме приводит к приложению к валу «приводного» двигателя постоянного активного момента, направленного в одну сторону. Такая модель правомерна для ДСП, где основной нагрузкой двигателя является момент, создаваемый весом вертикально перемещающихся элементов (телескопических стоек, кареток, рукавов, электрододержателей и т.д.). Особенность данного режима заключается в том, что при движении электрода вниз приводной двигатель работает в тормозном режиме, ограничивая свободное падение электрода, а при движении электрода вверх – в двигательном режиме с активным нагрузочным моментом. Кроме того, такой режим позволяет моделировать работу при наличии электромагнитного тормоза;
- Работа «тормозного» двигателя в режиме динамического торможения (с этой целью осуществляется питание обмотки «тормозного» двигателя постоянным током) позволяет имитировать работу привода при наличии реактивного момента, к которому можно отнести силы трения в опорах механизма перемещения и т.д.

Моделирование электрической дуги осуществляется с использованием математической модели, закладываемой либо в программируемый логический контроллер, либо исполняемой на персональном компьютере, подключаемом к стенду.

В ходе эксперимента были исследованы основные режимы работы ДСП (режим зажигания дуги, режим отработки короткого замыкания и режим скачкообразного изменения длины дуги) для соответствующих режимов работы. Были сняты кривые изменения напряжения дуги и перемещения электрода во времени для различных зон нечувствительности и скоростей перемещения электрода.

По полученным результатам строились переходные характеристики напряжения дуги для каждого из случаев. На рис. 2 показаны некоторые полученные зависимости для двух зон нечувствительности 1 и 2

(зона нечувствительности 1 меньше зоны нечувствительности 2) при наличии в системе электромагнитного тормоза и при его отсутствии.

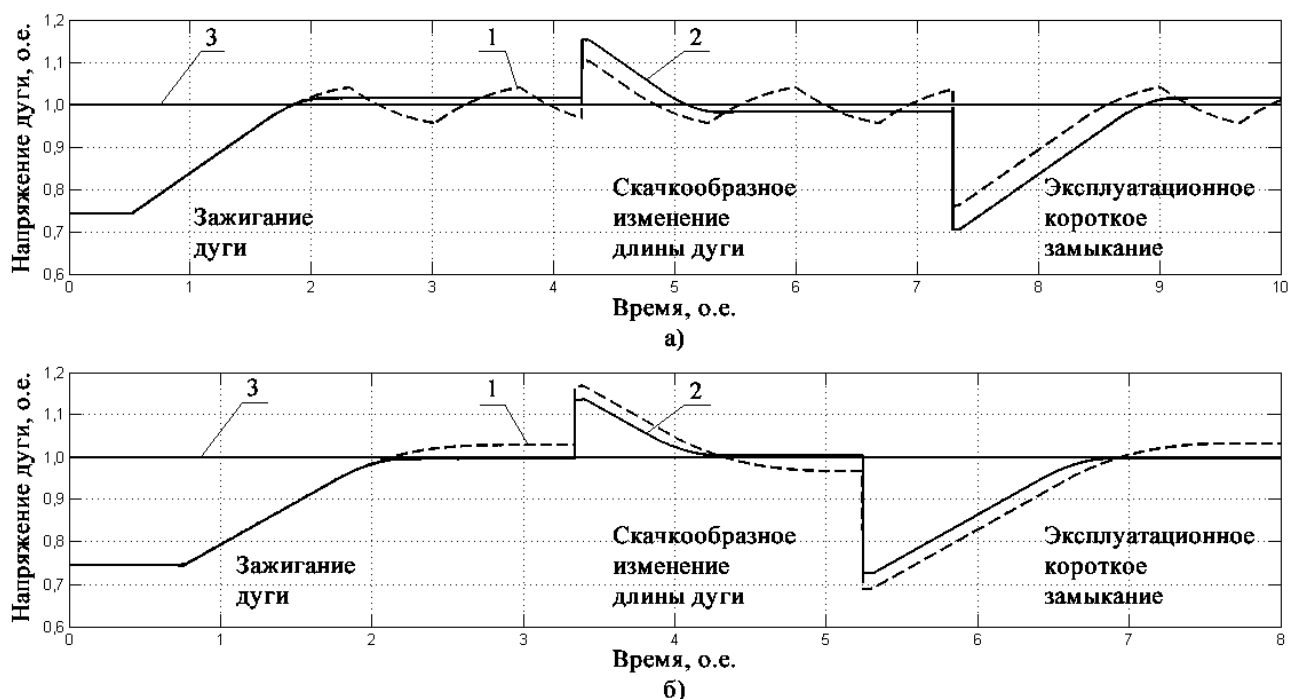


Рис. 2. Переходные характеристики напряжения дуги: 1 – без тормоза; 2 – с тормозом; 3 – задание; а) с зоной нечувствительности 1; б) с зоной нечувствительности 2.

В результате проведенных исследований была доказана пригодность привода на базе нерегулируемого асинхронного двигателя для механизмов перемещения электродов ДСП, причем с возможностью получения переходных процессов, близких к апериодическим. Было показано, что регулятор мощности с нерегулируемым асинхронным двигателем обладают более высоким быстродействием, чем традиционные варианты, за счет исключения из состава привода инерционных элементов, таких как преобразователи частоты, преобразователь напряжения и др., а также сниженными материальными затратами.

Применимость представленного технического решения ограничивается исключительно дугowymi печами малой ёмкости из-за необходимости использования только одной фиксированной скорости перемещения электрода.

С другой стороны, установка в системы перемещения электродов ДСП станочных сервоприводов на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами или приводов на базе бесколлекторных двигателей постоянного тока позволит существенно сократить габаритные размеры и повысить точность перемещения. К преимуществам станочного сервопривода следует отнести жесткие механические характеристики, а также пониженные вибрации в процессе работы, продолжительную работу на пониженных скоростях без перегрева и отсутствие необходимости в дополнительном принудительном охлаждении.

Если рассматривать ситуацию с финансовой точки зрения, то цены комплектов «асинхронный двигатель – частотный преобразователь – энкодер» и «синхронный двигатель – сервопреобразователь» небольшой мощности (до 1,5-2,0 кВт) практически равны.

Следует добавить, что применение прецизионных шарико-винтовых пар в механизмах перемещения электрода поможет существенно снизить потери на трение путем замены трения скольжения, которое характерно для трапецидальных винтовых и реечных передач, на трение качения, которое в несколько раз ниже. Таким образом, становится возможным уменьшить номинальную мощность приводного двигателя, а также его массогабаритные характеристики.

Кроме того, применение преобразователя, позволяющего в широком диапазоне изменять скорость перемещения электрода при неизменных моментных характеристиках привода, позволяет осуществить прямое присоединение приводного двигателя к исполнительному механизму без использования понижающего редуктора, что в свою очередь также позволит повысить эффективность привода за счет повышения коэффициента полезного действия передачи в целом, а также значительно снизить стоимость.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Информационно-управляющие составляющие современных систем автоматического управления ДСП строятся на базе промышленных логических контроллеров (ПЛК) [4]. Поскольку ПЛК являются цифровыми устройствами, то им присущи циклические опросы входных величин и выдача данных, а также исполнение заложенной программы с некоторой постоянной времени, транспортными задержками.

Как показали проведенные исследования, на ряде дуговых печей для обеспечения нормального зажигания дуги и последующего её устойчивого горения приходится сильно уменьшать время цикла управляющей программы ПЛК.

Таким образом, для обеспечения максимального быстродействия к ПЛК предъявляются очень жесткие требования по быстродействию, максимально приближая цифровую технику к аналоговой. Это обстоятельство приводит к противоречию: цена ПЛК из-за необходимого высокого быстродействия достаточно велика, а заложенная в них логика, в большинстве случаев, не уходит дальше широко известного и давно применяемого в теории автоматического управления пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора), а в ряде случаев и простого пропорционального регулятора (П-регулятора).

При разработке прототипа информационно-измерительной структуры были поставлены и решены задачи обеспечения высокого быстродействия, универсальности и функциональности при минимально возможной стоимости.

В основу разрабатываемой системы были положены готовые макетные платы, основанные на линейке 8-битных микропроцессоров корпорации *Atmel*, поскольку они доступны, просты в эксплуатации, обладают высоким быстродействием, кроссплатформенностью (код, написанный для одного микроконтроллера применим для другого с минимумом переделок), большим числом входов, разнообразием интерфейсов связи и малой стоимостью.

Для построения информационного канала системы автоматического управления ДСП был разработана и реализована электрическая схема, которая в упрощенном виде показана на рис. 3. В качестве примера показанная на рис. 3 структура построена на базе отладочной платы *Crumb128-CAN* с микроконтроллером *AT90CAN128*. Существенным преимуществом отладочных плат являются наличие всех необходимых внутренних электрических соединений, требующихся преобразователей, сопротивлений, индуктивностей и ёмкостей.

В зависимости от требуемого в каждом конкретном случае функционала: числа аналоговых и дискретных входов и выходов, быстродействия (частоты кварцевого генератора), наличия того или иного интерфейса, необходимого разрешения аналого-цифрового преобразователя и т.д. информационный канал может быть построен на различных отладочных платах с сохранением общей структуры.

В качестве датчика может выступать персональный компьютер, ПЛК с низким быстродействием или другое устройство. Источником

задания также могут являться аналоговые датчики, например, потенциометры или инкрементальные энкодеры.

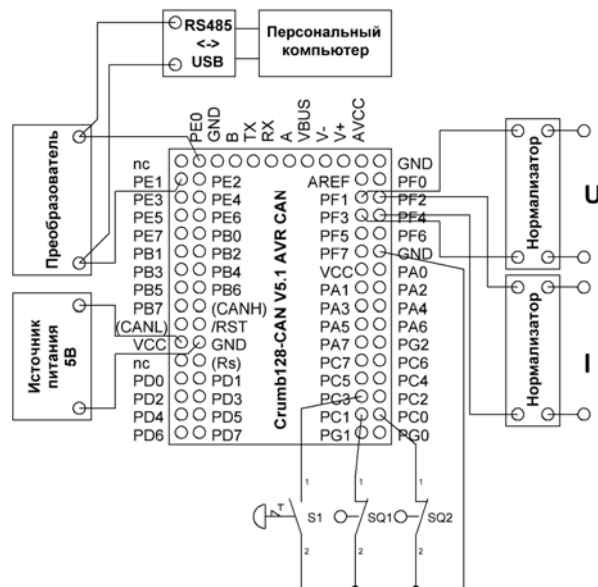


Рис. 3. Упрощенная электрическая схема.

Сигнал, пропорциональный напряжению, снимается непосредственно с электрода печи через нормализатор, обеспечивающий согласование уровней напряжения измерительных и силовых цепей, а также служащий для гальванической развязки. Сигнал, пропорциональный току, получается в зависимости от исполнения печи через нормализатор с трансформатора напряжения, либо с поясов Роговского. Эти сигналы оцифровываются аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера. Поскольку сигналы напряжения и тока в ряде случаев являются гармоническими, то в системе используется дифференциальная схема их измерения.

В микроконтроллере происходит сравнение задания и измеренного значения напряжения, тока или импеданса, и, в зависимости от введенных настроек ПИ-регулятора, на выходе микроконтроллера формируется управляющий сигнал. Последний может быть передан частотному преобразователю механизма перемещения электрода, на пропорциональный распределитель гидравлического привода или любой другой исполнительный элемент в виде аналогового сигнала или по протоколу передачи данных.

При желании в микроконтроллере может быть реализована функция разложения измеренного сигнала тока и напряжения по гармоникам, проведен анализ гармонических составляющих с внесением коррекции в основной управляющий сигнал.

Наличие у микроконтроллера высокоскоростных счетчиков позволяет присоединять к ним датчики для определения положения электрода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описанные выше принципы и алгоритмы легли в основу конструкторских разработок, направленных на создание малой лабораторной ДСП емкостью до 10 кг по жидкому алюминию, общий вид которой приведен на рис. 4.

Для подвода электрической энергии и поддержания заданного технологического режима печь снабжена одним сводовым вертикально перемещаемым электродом и одним подовым электродом.

Установка питается от сварочного источника питания мощностью 30-50 кВт.

Для перемещения электрода используется шариковая пара, приводимая в движение соединенным на прямую при помощи муфты асинхронным двигателем, который, в свою очередь, управляется от частотного преобразователя. Задание в частотный преобразователь поступает из системы управления, созданной на базе микроконтроллера *AT90CAN128* через последовательную линию связи *RS-485* при помощи открытого коммуникационного протокола *Modicon Modbus* основанного на архитектуре «ведущий – ведомый».

Человеко-машинный интерфейс для задания и отображения основных параметров плавки выполнен на языке высокого уровня и запущен на персональном компьютере. Связь между микроконтроллером и человеко-машинным интерфейсом осуществляется также по открытому коммуникационному протоколу *Modicon Modbus* по последовательному интерфейсу *RS-485*.

В настоящий момент на данной установке проводятся лабораторные исследования, для выявления основных показателей качества системы, их окончательной настройки и отладки.



Рис. 4. Модель лабораторной ДСП постоянного тока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минеев, Р. В., Бадажков, О. А., Игнатов И. А. Опыт эксплуатации дуговых печей малой и средней ёмкости. — М.: Металлургия, 1988. — 80 с.
2. Сидоренко, М. Ф., Автоматизация и механизация электросталеплавильного и ферросплавного производств / М. Ф. Сидоренко, А. И. Косырев. — М.: Металлургия, — 1975. — 272 с.
3. Чупраков, Ю. И. Гидропривод и средства гидроавтоматики: Учебное пособие для вузов по специальности «Гидропривод и гидропневмоавтоматика» — М.: Машиностроение — 1979. — 232 с.
4. Лапшин, И. В. Автоматизация дуговых печей. — М.: [б.и.], 2004. — 166 с.